



Elbow connection element and method of manufacture

Patent number: DE19542175
Publication date: 1997-05-15
Inventor: KUEPPERS UDO DR ING [DE]
Applicant: KUEPPERS UDO DR ING [DE]
Classification:
- International: F15D1/04; F16L43/00
- european: B65G53/54; F15D1/04; F16L43/00
Application number: DE19951042175 19951102
Priority number(s): DE19951042175 19951102

Also published as:

 EP0771991 (A)
 EP0771991 (B)

Abstract not available for DE19542175

Abstract of corresponding document: **EP0771991**

The connecting piece has a roughly constant cross section which connects two fixed pipes (2,3) or channels, in order to guide a mainly static fluid stream in a predetermined direction (F). The pipes are roughly straight, at least in the regions adjoining the connecting piece, whose longitudinal axes (A2,A3) lie in the same plane, or can be projected onto the same plane. The axes or their projections cut on this plane in the region of the connecting point at a point (S), which is equidistant from the adjoining ends (20,30) of the pipes. The curvature of the connecting piece between the adjacent ends of the first and second pipes, is described by a function (K) of (x,y,z). This function has a maximum at a point or in a section (Kmax), whose distance from the end of the first pipe is different from its distance from the end of the second pipe.

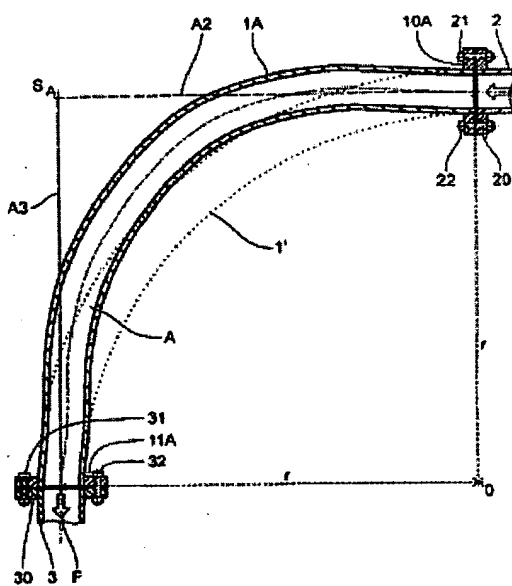


Fig. 1a

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

BEST AVAILABLE COPY



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

Offenlegungsschrift
DE 195 42 175 A 1

Int. Cl.⁶:
F 15 D 1/04
F 16 L 43/00

DE 195 42 175 A 1

21 Aktenzeichen: 195 42 175.2
22 Anmeldetag: 2. 11. 95
43 Offenlegungstag: 15. 5. 97

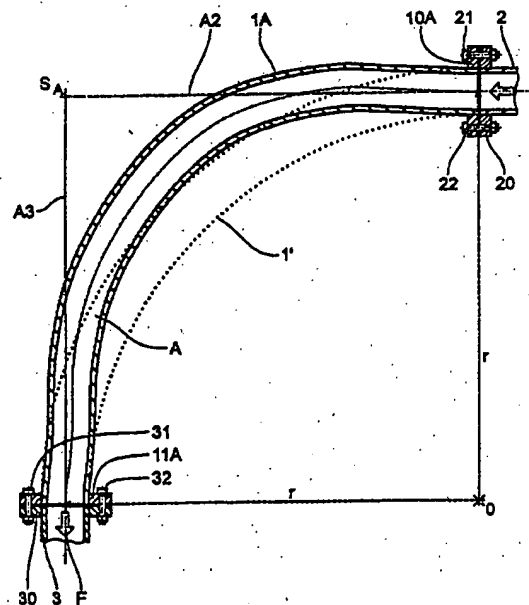
71 Anmelder:
Küppers, Udo, Dr.-Ing., 14129 Berlin, DE
74 Vertreter:
Christiansen, H., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 14185 Berlin

72 Erfinder:
gleich Anmelder
56 Entgegenhaltungen:
DE-B.: Evolutionsstrategie Optimierung technischer
Systeme nach Prinzipien der biologischen Evolution,
Ingo Rechenberg, Stuttgart, 1973;

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

64 Gekrümmtes Verbindungsstück und Verfahren zu dessen Herstellung

67 Gekrümmtes, insbesondere starres, Verbindungsstück (1A; 1B; 1C) mit einer über seine Länge im wesentlichen konstanten Querschnittsflächengestalt zum Verbinden eines ersten und eines zweiten, sich mindestens in dem an das Verbindungsstück angrenzenden Bereich im wesentlichen geradlinig erstreckenden, starren Rohres (2, 3) oder Kanals zum Führen eines im wesentlichen stationären Fluidstromes mit vorbestimmter Richtung (F), wobei die Längsachsen (A2, A3) der angrenzenden Bereiche des ersten und des zweiten Rohres oder Kanals (2, 3) in einer gemeinsamen Ebene liegen oder auf eine gemeinsame Ebene projizierbar sind und sich die Längsachsen oder deren Projektionen auf die Ebene in der Umgebung des Verbindungsstücks in einem Punkt (S) schneiden und die dem Verbindungsstück benachbarten Enden (20, 30) des ersten und des zweiten Rohres oder Kanals vom Schnittpunkt (S) gleichen Abstand haben, wobei das Verbindungsstück eine Krümmung aufweist, die zwischen den ihm benachbarten Enden des ersten und des zweiten Rohres oder Kanals durch eine Funktion $K(x, y, z)$ beschrieben ist, die mindestens ein Maximum an einem Punkt oder in einem Abschnitt (K_{max}) hat, dessen Abstand zum Ende des ersten Rohres vom Abstand zum Ende des zweiten Rohres verschieden ist.



DE 195 42 175 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verbindungsstück der im Oberbegriff des Anspruchs 1 angegebenen Art, ein Verfahren zu dessen Herstellung sowie eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

Verbindungsstücke der in Rede stehenden Art — vielfach als Rohrkrümmer oder (verkürzt) als Krümmer bezeichnet — finden massenweisen Einsatz in Fluidleitungssystemen aller Art, etwa in Wasser- und Abwasser-, Gas- und Ölleitungssystemen, in Leitungssystemen der Gebäudeheizung und der Klimatechnik, in Kraftwerken und chemischen Anlagen, in Rohrsystemen für den Schüttguttransport, in Kühl- und Waschgeräten u.v.m. Auf den Transport der Fluide in den entsprechenden Leitungssystemen entfällt ein nicht unerheblicher Anteil des gesamten Primärenergieverbrauchs.

In der Praxis sind diese Verbindungsstücke in ihrer Längserstreckung fast ausschließlich in Form von Kreissegmenten — insbesondere von Viertelkreisen zur Verbindung zweier unter einem rechten Winkel aufeinanderstoßender Rohrabschnitte — ausgeführt. Diese einfachste Ausführung hat die Vorteile einer hochgradigen Standardisierbarkeit für verschiedenste konkrete Anwendungen und einer einfachen Herstellung mit seit langem eingesetzten Technologien und Anlagen und ist daher für viele der o.g. Anwendungen als optimal anzusehen.

Für eine beträchtliche Zahl von Anwendungen haben die herkömmlichen kreissegmentförmigen Krümmer mit konstantem Querschnitt jedoch Nachteile, die in der Vergangenheit immer wieder zu Verbesserungsvorschlägen Anlaß gegeben haben. Diese betrafen insbesondere Verbindungsstücke für Rohrleitungssysteme, in denen zusammen mit einem Fluid Feststoffe — speziell solche, die abrasiv auf die Rohrwandung einwirken — transportiert werden.

So ist aus DE-OS 17 50 542 ein Stoßkrümmer für pneumatische Transportleitungen bekannt, der an der Peripherie der Krümmung zwischen der ein- und der auslaufenden Rohrleitung eine Prallwand aufweist, die die im Fluidstrom auftretenden Feststoffe reibungsarm umlenken soll.

Aus DE-OS 20 04 578 ist eine Fluid-Rohrleitung aus Elementen mit kreisförmigem Querschnitt und einem ersten Durchmesser und Übergangsstücken und einem Rohrbogen mit wesentlich größerem Durchmesser bekannt, wobei an der konkaven Seite des Rohrbogens eine zusätzliche Zwischenwand gebildet ist.

Auch in DE 21 40 419 C3 wird ein Rohrkrümmer beschrieben, der mit zusätzlichen Leiteinrichtungen im Inneren versehen ist. Diese sind hier sehr speziell so ausgebildet, daß von der Krümmerwandung zur Mittennachse hin verlaufende, sich gegensinnig drehende Wirbel ausgebildet werden.

DE 32 30 774 A1 beschreibt ein Bogenstück für Rohrleitungen, insbesondere für die pneumatische Förderung von Pulvern oder Granulaten abrasiver Natur, der einen sich vom anströmseitigen Rohr aus schnell erweiternden und nach Erreichen des Umlenkpunktes zum abströmseitigen Rohr hin langsamer wieder verringern den Querschnitt aufweist, wobei der Rohrbogen insgesamt eine komplizierte Gestalt aufweist.

Eine prinzipiell ähnliche Lösung, bei der das Verbindungsstück aber in praktisch vorteilhafter Weise gleichschenkelig und aus geometrisch einfacheren Abschnitten aufgebaut ist, beschreibt EP 0 195 528 A1.

All diese — hier nur beispielhaft genannten — Ver-

bindungsstücken sind aufgrund ihrer komplizierten Gestalt wesentlich aufwendiger in der Herstellung als die herkömmlichen Krümmer. Zudem ist ihre Form nicht aus energetischer Sicht, sondern isoliert mit dem Ziel einer Verminderung der Abrasionswirkung des transportierten feststoffhaltigen Fluids bestimmt worden.

Äußerst vielgestaltige Rohrkrümmer sind aus dem Gebiet der Abgasanlagen für Verbrennungsmotoren bekannt; ein Beispiel hierfür zeigt DE 42 28 188 A1. Derartige Krümmer sind aber nicht gattungsgemäß, werden nicht als separate Teile, sondern integriert in eine zusammenhängende Abgasanlage gefertigt und ihre Formgebung ist primär durch ästhetische Gesichtspunkte bestimmt. Insoweit bei der Formgebung dieser Krümmer — speziell für Zweitaktmotoren — energetische Aspekte eine Rolle spielen, so betreffen diese eine druckwellendynamisch vorteilhafte Auslegung des Abgassystems zur Erhöhung des Füllungsgrades des Arbeitszylinders, nicht aber die energetische Optimierung der Fluidströmung im Abgasrohr als solche.

Dem Ziel einer Verringerung des Strömungswiderstandes dient die in der Vergangenheit ebenfalls vielfach vorgeschlagene und auf einigen Anwendungsgebieten auch praktizierte Zugabe spezieller reibungsvermindernder Chemikalien zum Fluid. Dieses Vorgehen ist jedoch nur für spezielle Einsatzfälle praktikabel und zudem auch dort meist zu kostenaufwendig und unter Umweltschutzaspekten problematisch.

Ein Versuch einer energetischen Optimierung der Krümmerform unter Beibehaltung eines konstanten Querschnitts über die Länge des Krümmers und unter Verzicht auf zusätzliche Fluidleitelemente wurde — als Modellversuch im Rahmen einer breiter angelegten wissenschaftlichen Arbeit — von I. Rechenberg in: Evolutionsstrategie, Stuttgart 1973, S. 29 bis 34, beschrieben.

Die hierbei als gegenüber dem viertelkreisförmigen Krümmer energetisch vorteilhaft ermittelten Krümmergeometrien sind insofern nicht gattungsgemäß und für die meisten praktischen Anwendungen wenig geeignet, als die Schenkellängen ungleich sind. Dies würde den Einbau entsprechend gefertigter Krümmer in vorhandene Leitungssysteme unmöglich machen und tiefgreifende Umstellungen bei der Planung neuer Systeme erfordern, die als kaum durchsetzbar erscheinen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verbindungsstück der eingangs genannten Gattung mit hinsichtlich mindestens eines relevanten Strömungsparameters, insbesondere des Strömungswiderstandes, optimierter Gestalt, das einfach und kostengünstig herstellbar und in bestehende Rohrleitungssysteme ohne weiteres einfügbar ist, sowie ein Verfahren zu dessen Herstellung und eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens anzugeben.

Diese Aufgabe wird in ihrem ersten Teil durch ein Verbindungsstück mit den Merkmalen des Anspruchs 1, in ihrem zweiten Teil durch ein Verfahren gemäß Anspruch 13 und in ihrem dritten Teil durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 21 gelöst.

Die Erfindung schließt den Gedanken ein, ein (bezüglich des Schnittpunktes der Längsachsen zweier zu verbindender Rohre) gleichschenkeliges Verbindungsstück mit über seine Länge konstanter Querschnittsgestalt und gegenüber der herkömmlichen Kreissegmentform optimiertem Krümmungsverlauf anzugeben. Ein solches Verbindungsstück ist weitgehend auf herkömmliche Weise in vorhandenen Anlagen herstellbar, enthält keine kostentreibenden Zusatzteile und/oder Aufweitungen und ist in vorhandenen Systemen oder in Pla-

nungen ohne Änderung der bestehenden oder auf herkömmliche Weise geplanten Leitungsführung einsetzbar.

In einer Ausführung mit besonders geringem Umlenkwiderrstand weist die den Krümmungsverlauf des Verbindungsstücks oder Rohrbogens beschreibende Funktion einen Bereich stetigen Übergangs von einer — durch den annähernd geradlinig vorausgesetzten Verlauf des benachbarten Rohrabschnitts vorgegebenen — Krümmung Null am Ende des anströmseitigen bzw. einlaufenden Rohres bis zum Punkt oder Abschnitt des Krümmungsmaximums und/oder von diesem Punkt oder Abschnitt zum abströmseitigen Rohr hin auf.

Die die Krümmung beschreibende Funktion kann nahe dem dem anströmseitigen und/oder abströmseitigen Rohr oder Kanal benachbarten Ende auch einen Wendepunkt haben.

Die Querschnittsgestalt des Verbindungsstücks wird je nach dem konkreten Einsatzzweck in Anpassung an die Querschnittsgestalt der angrenzenden Rohr- oder Kanalabschnitte gewählt; in den meisten Fällen wird sie kreisförmig, für eine Reihe von Einsatzgebieten (etwa die Lüftungs- und Klimatechnik) auch rechteckig oder speziell quadratisch sein. Auch das Material kann entsprechend dem Einsatzzweck ohne Einschränkung aus der Vielzahl von herkömmlichen Rohr- und Krümmwerkstoffen gewählt werden.

Ein wesentlicher Gedanke hinsichtlich der praktischen Ausführung der Erfindung besteht darin, unter Verknüpfung mehrerer Verbindungsstücke der oben genannten Art strömungstechnisch optimierte Krümmenanordnungen mit komplizierterer geometrischer Gestalt bereitzustellen. Eine solche Anordnung kann insbesondere in Strömungsrichtung aneinandergefügte Verbindungsstücken mit entgegengesetzten Krümmungsrichtungen ("Links-" und "Rechts-"Krümmer) umfassen und/oder Verbindungsstücke einschließen, die zwischen ihrer anströmseitigen und ihrer abströmseitigen Stirnfläche unterschiedliche Winkel einschließen (beispielsweise 90°, 45°, 30°-Krümmer und/oder Krümmer mit speziellen Paßwinkeln für vorhandene Leitungssysteme). Dabei kann mindestens an einer Stelle zwischen zwei Verbindungsstücken oder ggfs. am Ende eines Verbindungsstücks zum Distanzausgleich ein gerades Rohr- oder Kanalstück eingefügt sein.

Das Verfahren zur Herstellung eines erfindungsge-
mäßigen Verbindungsstücks zeichnet sich dadurch aus, daß — der eigentlichen Formgebung durch Biegen, Gießen, Spritzgießen o.ä. vorgelagert — ein Schritt der Formbestimmung des Verbindungsstücks vorgesehen ist, der einen Optimierungsvorgang unter Erzeugung eines reellen (oder virtuellen, auf einem Rechner simulierten) Fluidstromes mit mindestens einem Strömungs- oder die mechanische Belastung des Krümmers kennzeichnenden Parameter umfaßt. Es liegt auch im Rahmen der Erfindung, einen solchen Formbestimmungsschritt relativ losgelöst von der eigentlichen Fertigung separat vorzunehmen, etwa im Rahmen einer strömungstechnischen Anlagenoptimierung als Dienstleistung, auf deren Grundlage dann ein optimiertes zwei- oder dreidimensionales Rohrsystem zusammenhängend gefertigt wird.

Für eine im Hinblick auf minimale Energieverluste beim Transport des Fluids optimierte Formgebung wird beispielsweise die Druckdifferenz zwischen Einlauf- und Auslauf des Krümmers gemessen, der besagte Parameter ist dann der Fluidruck. In besonders einfacher Weise kann die Verbindungsstück-Gestalt aber auch auf

maximalen Stoffdurchsatz pro Zeiteinheit hin optimiert werden. Aufwendiger, aber für eine Reihe von Anwendungen von besonderer Bedeutung, ist eine Optimierung auf geringste mechanische Belastung des Krümmers hin.

Für spezielle Anwendungen, wo erhöhte Erstellungskosten in Kauf genommen werden können, kann zusätzlich zur optimierten Krümmung eine die Strömungseigenschaften weiter verbessernde, insbesondere strömungslenkende, Strukturierung (beispielsweise Rillierung) der Innenoberfläche vorgesehen sein. Deren Gestalt kann in vorteilhafter Weise zusammen mit dem Krümmungsverlauf optimiert werden.

Ist ein anderes Optimierungsziel vorgegeben als die Erreichung eines minimalen Druckverlustes (z. B. Maximierung des Fluiddurchsatzes pro Zeiteinheit oder Minimierung der Wandreibung eines Feststoffe tragenden Fluids oder eines aus Feststoffteilchen bestehenden Pseudo-Fluids), ist auch eine entsprechende Meßgröße zu wählen.

Der Formbestimmungsschritt wird in vorteilhafter Weise nach einem (bevorzugt mehrgliedrigen) evolutionären Algorithmus ausgeführt. Beispielsweise wird die Menge der untersuchten Verbindungsstück-Modelle im Verlauf des Optimierungsvorganges — von mindestens einer vorgegebenen Form (etwa dem Viertelkreis) ausgehend — gemäß dem Grundprinzip Mutation-Selektion schrittweise vergrößert, bis eine Form mit hinreichender Annäherung an das Optimierungsziel — beispielsweise mit hinreichend niedrigem Strömungswiderstand — gefunden ist. Unter "Mutation" ist hier eine zufällige Änderung eines oder mehrerer Geometrieparameter(s) des Krümmers, unter "hinreichender Annäherung" ist in praxi insbesondere auch ein Zustand zu verstehen, von dem aus binnen einer bestimmten Anzahl weiterer Schritte keine deutliche Verbesserung mehr gelingt. Der Selektionsschritt der evolutionären Optimierung wählt — je nach Anwendung der spezifischen, evolutionären Optimierungsstrategie — eine oder mehrere Krümmervariationen mit zugehörigen Geometrieparametern aus, deren gemessene "Qualität(en)" im Vergleich zu den "Qualitäten" weiterer Krümmervariationen derselben Optimierungsgeneration dem gesetzten Ziel am nächsten kommen. Mit diesen ausgewählten Krümmer(-parametern) beginnt ein neuer Mutations-Selektions-Zyklus. Auch moderne nichtlineare Optimierungsstrategien können mit Vorteil angewandt werden.

Die Form der Verbindungsstück-Modelle ist auf einfache und zweckmäßige Weise durch die lokalen Krümmungsradien der Verbindungsstück-Mittelnachse (d. h. der Abstände zu einem Punkt, von dem aus sich ein Kreisbogen zwischen den Enden des anström- und des abströmseitigen Rohres ziehen läßt) bei vorgegebenen Winkelwerten des Ortes zwischen den dem Verbindungsstück zugewandten Enden des ersten und zweiten Rohres — mit anderen Worten: durch die Polarkoordinaten der Mittelnachse bezüglich des genannten Punktes — beschreibbar. Ein Mutationsschritt umfaßt dann die Variation mindestens eines lokalen Krümmungsradius nach dem Zufallsprinzip bzw. die Variation des Krümmungsverlaufs in einem Abschnitt des Verbindungsstück-Modells.

In einer besonders variablen Ausbildung des Verfahrens wird der Krümmungsverlauf in einem Abschnitt durch gleichzeitige Einstellung des lokalen Krümmungsradius an einem Ort in diesem Abschnitt (zweckmäßigerweise in dessen Mitte) und eines den Verlauf

der Längsachse in der Umgebung dieses Ortes angeben- den Richtungsparameters eingestellt.

Um das genannte Verfahren — speziell die letztge- nannte Ausführung — in vorteilhafter Weise realisieren zu können, ist eine spezielle Vorrichtung vorgesehen, die gegenständlich als Versuchsaufbau oder auch als Computersimulationsmodell ausgeführt sein kann. Sie umfaßt:

- eine reale oder virtuelle Fluidquelle zur Erzeugung eines (entsprechend realen oder virtuellen) Fluidstromes mit mindestens einem vorbestimmten Strömungsparameter,
- ein (reales oder virtuelles) Verbindungsstück-Modell mit einem mindestens mittelbar mit dem Ausgang der Fluid-Quelle verbundenen Eingang, einem Ausgang und variablem Krümmungsverlauf in Richtung der Längserstreckung zwischen seinem Ein- und Ausgang,
- eine dem Eingang des Verbindungsstück-Modells zugeordnete Bestimmungseinrichtung zur Bestimmung (Messung oder Vorgabe und Messung an verschiedenen Stellen oder Berechnung) einer strömungstechnisch oder hinsichtlich der mechanischen Belastung relevanten Größe des Fluidstromes,
- eine eingangsseitig mit dem Ausgang der Bestimmungseinrichtung verbundene Verarbeitungseinheit zur Verarbeitung der bestimmten Werte der besagten Größe,
- eine dem Verbindungsstück-Modell zugeordnete (reale oder virtuelle) Verstelleinrichtung zur Einstellung verschiedener vorbestimmter Verläufe, welche aufweist:
 - eine Mehrzahl von Radial-Verstelleinrichtungen zur Verstellung des lokalen Radius eines Abschnitts des Verbindungsstücks,
 - eine Mehrzahl von, jeweils einer Radial-Verstelleinrichtung zugeordneten, Tangential-Verstelleinrichtungen zur Verschiebung des Angriffspunktes der jeweils zugeordneten Radial-Verstelleinrichtung am Verbindungsstück-Modell und
 - eine Mehrzahl von, jeweils einer Tangential-Verstelleinrichtung zugeordneten, Drehwinkel-Verstelleinrichtungen zur Drehung der Angriffsrichtung der jeweils zugeordneten Radial-Verstelleinrichtung.

Wahlweise kann auch eine Steuereinrichtung zur Steuerung der Stellvorgänge (ggfs. automatisch im Ansprechen auf die Verarbeitungseinheit) und u. U. auch der Auswertung selbst vorgesehen sein. Verstelleinrichtungen können auch an der Fluidquelle vorgesehen sein.

Bei der gegenständlichen Ausführung besteht das Verbindungsstück-Modell insbesondere aus flexiblem Material, und es sind als Radial-Verstelleinrichtungen am Umfang des Verbindungsstück-Modells angreifende, mit einem in Längserstreckung verschieblichen, radial verlaufenden Haltestab versehene (ringförmige) Halterungen, als Tangential-Verstelleinrichtung eine viertelkreisförmig tangential verlaufende Führungsbahn mit feststellbaren Kulissensteinen für die Haltestäbe der Radial-Verstelleinrichtungen und als Drehwinkel-Verstelleinrichtungen Kulissenstein-Halter mit einer Aufnahme zur drehbaren Lagerung des Kulissensteins vorgesehen.

Die Fluidquelle ist in diesem Fall in besonders einfach

zu handhabender Ausführung beispielsweise ein Druckluftherzeuger (bevorzugt mit Regeleinrichtung), der insbesondere ein Lüftergebläse oder einen Kompressor aufweist. Für Applikationen, bei denen ein höherviskoses oder stark feststoffbehaftetes Medium das Fluid darstellt oder wo es etwa um sich fluidartig verhaltende Feststoffströme geht, wird bei der Formbestimmung am Modell in der Regel ein Fluid mit vergleichbaren Eigenschaften verwendet werden müssen, so daß dann etwa eine Hydraulikpumpe einzusetzen ist. Der Fluidquelle kann auch speziell ein Reservoir für Feststoffe oder Mehrstoff-Gemische zur Erzeugung eines Fluidstromes mit Feststoffteilchen einer vorgegebenen Größenverteilung und Konzentration zugeordnet sein.

Als eine erste und/oder zweite Bestimmungseinrichtung kann ein Staudruckrohr zur Messung des Fluiddruckes vorgesehen sein. Es können aber auch andere bekannte Druckmeßeinrichtungen oder gänzlich andersartige Meßinstrumente eingesetzt sein, beispielsweise für die optimierte Formbestimmung von Verbindungsstücken für den Schüttguttransport eine Fluidmengen-Erfassungs- und eine Zeitmeßeinrichtung zur Ermittlung der das Verbindungsstück-Modell pro Zeiteinheit durchströmenden (Pseudo-)Fluidmenge.

Unter Verzicht auf eine Vergegenständlichung kann die Vorrichtung Mittel zur Computersimulation der Fluidquelle, des Verbindungsstück-Modells und der Verstelleinrichtung sowie zur eingangsseitig des Verbindungsstücks vorgenommenen Bestimmung des Fluidparameters (als Werteeingabe) und zur ausgangsseitig vorgenommenen Bestimmung (als Berechnung aufgrund der Simulationsparameter der Verstelleinrichtung) umfassen.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet bzw. werden nachstehend zusammen mit der Beschreibung der bevorzugten Ausführung der Erfindung anhand der Figuren näher dargestellt. Es zeigen:

Fig. 1a bis 1c Längsschnittdarstellungen von Verbindungsstücken nach Ausführungsformen der Erfindung,

Fig. 2a bis 2c grafische Darstellungen des Druckabfalls in Abhängigkeit vom Fluid-Volumenstrom bei den Ausführungsformen nach Fig. 1a bis 1c,

Fig. 3a bis 3c grafische Darstellungen zur bei den Ausführungsformen nach Fig. 1a bis 1c erreichten Verbesserung der Strömungseigenschaften gegenüber einem viertelkreisförmigen Verbindungsstück,

Fig. 4a bis 4 schematische Darstellungen von Beispielen für Verbindungsstücke bzw. kombinierte Verbindungsstück-Anordnungen gemäß weiteren Ausführungsformen,

Fig. 5 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Durchführung der Formbestimmung eines erfindungsgemäßen Verbindungsstücks in der Draufsicht,

Fig. 6 eine Querschnitts-Detailldarstellung zur Vorrichtung nach Fig. 5,

Fig. 7 eine weitere Ausführungsform der Vorrichtung zur Durchführung zur Formbestimmung und

Fig. 8 eine weitere Ausführungsform der Vorrichtung zur Durchführung der Formbestimmung.

In den Fig. 1a bis 1c ist je ein 90°-Verbindungsstück 1A, 1B und 1C aus Stahlrohr nach einer Ausführungsform in seiner Verbindung mit je einem anströmseitig und abströmseitig angeflanschten geraden Stahlrohrstück 2 und 3 gezeigt.

Die Verbindungsstücke sind aus Stahlrohr-Halbzeug auf einer Biegemaschine mit dem optimierten Krümmungsverlauf entsprechender Anlage auf an sich be-

kannte Weise gebogen und die Flansche 10A, 11A; 10B, 11B bzw. 10C, 11C des jeweiligen Verbindungsstücks — ebenso wie die Flansche 20 bzw. 30 des geraden Rohres 2 bzw. 3 — nachträglich angeschweißt. Die Verbindung erfolgt in der gezeigten Ausführung mittels Bolzen-Mutter-Verschraubungen 21, 22 bzw. 31, 32.

Die Mittenachse A des jeweiligen Verbindungsstücks und die Mittenachsen A2, A3 der geraden Rohrstücken sind als strichpunktierte Linie dargestellt, und zum Vergleich ist (mit punktierten Linien) jeweils der Verlauf der Innenwandung eines viertelkreisförmigen Verbindungsstücks 1' gezeigt. Mit r ist der Abstand der Mittenachse A an den Verbindungsstellen der Flansche 10A/20, 10B/20 bzw. 10C/20 und 11A/30, 11B/30 und 11C/30 zum Krümmungsmittelpunkt des viertelkreisförmigen Vergleichs-Krümmers 1' bezeichnet, der an beiden Verbindungsstellen gleich ist. Die Strömungsrichtung ist auf der An- und Abströmseite jeweils mit einem Pfeil bezeichnet. Der Schnittpunkt der Mittenachsen A2, A3 ist mit S_A bezeichnet.

In allen Fig. 1a bis 1c ist zu erkennen, daß die Krümmung über den Längsverlauf des jeweiligen Verbindungsstücks — anders als die des Viertelkreis-Krümmers 1' — nicht konstant ist, sondern mindestens ein Maximum aufweist, dessen Ort zu den Enden der angrenzenden geraden Rohre 2, 3 verschiedene Abstände hat. Bei den Ausführungen nach Fig. 1b und 1c weist der Krümmungsverlauf sogar mehrere Maxima auf; bei der Ausführung nach Fig. 1a hat der Krümmungsverlauf einen Wendepunkt in der Nachbarschaft des anströmseitigen Rohres 3 und bei der Ausführung nach Fig. 1b je einen Wendepunkt in der Nachbarschaft des an- und des abströmseitigen Rohres 2 und 3.

Die obigen Angaben zu Material und Herstellung der Verbindungsstücke 1A bis 1C sind (ebenso wie deren konkrete Form) im Sinne von Beispielen zu verstehen; für entsprechende Anwendungen können sie als gegossene bzw. druckgegossene Krümmen aus Metall (Cußeisen, Aluminium etc.) oder Beton, Spritzguß-Kunststoffteile oder gebogene extrudierte (insbesondere auch flexible) Kunststoffrohre, Glasrohre o. ä. ausgeführt sein.

Die Fig. 2a bis 2c sind Darstellungen des Druckabfalls Δp eines Luftstromes zwischen der Anströmseite und der Abströmseite in Abhängigkeit vom Fluid-Volumenstrom V/t bei den Verbindungsstücken 1A bis 1C nach Fig. 1a bis 1c (als gefüllte Quadrate dargestellt), jeweils im Vergleich zu Werten für das Verbindungsstück 1' (als gefüllte Kreise dargestellt). Die Meßwerte wurden mittels einer Versuchsanordnung gemäß Fig. 4 an einem flexiblen Kunststoffrohr mit dem Durchmesser D = 75 mm und der Länge L = 1050 mm und geradlinigem Ein- und Auslauf von je 1000 mm Länge gewonnen, in das ein mittels eines Radialgebläses erzeugter, stationärer Luftstrom eingeleitet wurde. Die Druckdifferenzwerte wurden an Meßpunkten im geradlinigen Ein- und Auslaufbereich jeweils unter Verwendung eines Staudruckrohres ermittelt. Die Reynolds-Zahl Re wurde in den Versuchen konstantgehalten.

In den Grafiken sind die Abstände r ("Radien") der Mittenachse A zum Punkt O (gemäß Fig. 1 bis 1c) für verschiedene Winkel Φ_1 zwischen der Position des jeweiligen Rohrhalters (vgl. Fig. 5) und der Verbindungslinie zwischen dem Punkt O und der anströmseitigen Stirnfläche des jeweiligen Verbindungsstücks (der mit einem Winkel-Wert von 0° entspricht) sowie Winkel Φ_2 einer Verdrehung der Ebene des Rohrhalters gegenüber seiner Verbindungslinie zum Punkt O angegeben. Diese Werte-Tripel kennzeichnen — in grober Nähe-

runge — den Krümmungsverlauf des Verbindungsstücks 1A, 1B oder 1C.

Es ist deutlich zu erkennen, daß der Druckabfall bei allen drei Ausführungsformen erheblich geringer ist als beim Vergleichskrümmen. Dies belegt, daß die Ausführungsformen einen geringeren Strömungswiderstand haben, was wiederum geringeren Energieaufwand beim Transport eines vorgegebenen Fluidvolumens durch den Krümmer bedeutet.

Die Fig. 3a bis 3c sind grafische Darstellungen der prozentualen Verringerung des Druckabfalls bei den Ausführungsformen nach Fig. 1a bis 1c, mithin zur erreichten qualitativen Verbesserung der Strömungseigenschaften gegenüber einem viertelkreisförmigen Verbindungsstück.

In den Fig. 4a bis 4f sind in skizzenhafter Darstellung Beispiele für Verbindungsstücke bzw. kombinierte Verbindungsstück-Anordnungen gemäß weiteren Ausführungsformen der Erfindung gezeigt.

Fig. 4a zeigt einen 45°-Krümmer, Fig. 4b einen 30°-Krümmer, Fig. 4c eine Anordnung aus einem 90°-Links- und einem 90°-Rechts-Krümmer zur Verbindung zweier parallelversetzter gerader Rohrabschnitte, die einen dem Versatz gleichen Abstand der Enden von 2r haben, Fig. 4d einen 180°-Umlenkkrümmer zur Verbindung zweier einen Versatz 2r aufweisender, zueinander paralleler Rohre, Fig. 4e eine Anordnung aus einem 90°-Links- und einem 90°-Rechts-Krümmer mit einem dazwischen eingefügten geraden Rohrstück zur Verbindung zweier Rohre, die einen größeren Versatz als Abstand zueinander haben, und Fig. 4f die Kombination eines 45°-Krümmers mit einem 20°-Krümmer gleicher Krümmungsrichtung zur Verbindung zweier einen Winkel von 75° miteinander einschließenden Rohrabschnitte. Die im Ergebnis der jeweils für den konkreten Fall vorgenommenen Optimierung sich ergebende Abweichung vom kreissegmentförmigen Verlauf ist in den Skizzen gut zu erkennen; der jeweilige schematisch skizzierte Krümmungsverlauf ist jedoch nicht als universell optimierte Gesamtform zu verstehen. In der Praxis wird die Optimierung einer komplizierteren Rohrführung anhand eines in nullter Näherung aus einzelnen Verbindungsstück-Abschnitten vorgegebenen Gesamt-Krümmungsverlaufes bevorzugt zusammenhängend erfolgen.

In Fig. 5 ist in schematischer Darstellung eine Vorrichtung zur Durchführung der Formbestimmung eines erfindungsgemäßen Verbindungsstücks anhand eines Modells 1M in der Draufsicht gezeigt. Das flexible Verbindungsstück-Modell 1M mit kreisförmigem Querschnitt verbindet einen einlaufseitigen geraden Rohrabchnitt 2 gleichen Querschnitts mit einem zu diesem senkrecht stehenden auslaufseitigen geraden Rohrabchnitt 3 mit ebenfalls gleichem Querschnitt. Das Einlaufrohr 2 ist mit einem Lüfter 4 verbunden. Bei der gezeigten Ausführung ist das Modell 1M an seinen den Rohren 2 und 3 zugewandten Stirnflächen mit den Rohren 2 und 3 fest verbunden und zwischen diesen in Winkelabständen von jeweils 15° durch Haltevorrichtungen 5 gehalten, die jeweils einen das Modell-Rohr 1M umgreifenden Haltering 5a, einen mit diesem Ring fest verbundenen Haltestab 5b und einen kulissensteinartigen Träger 5c für den Haltestab umfassen. Die Träger 5c sind in einer kreissegmentförmigen Führungsnut 6 einer Grundplatte 7 tangential verschieblich aufgenommen und nehmen selbst die Haltestäbe 5b radial verschieblich auf.

Über eine tangentiale Verschiebung und/oder eine

Verstellung der Haltestäbe 5b in radialer Richtung in den Trägern 5c sowie ggfs. zusätzlich eine Drehung der Halter um eine vertikale Achse in den Trägern wird eine Verformung der Gestalt des flexiblen Verbindungsstück-Modells 1M bewirkt, so daß durch ein bestimmtes Ensemble von Einstellgrößen der Halter 5 eine bestimmte Gestalt des Modells 1M vorgegeben ist.

Ein- und auslaufseitig ist je eine Strömungs-sonde (Pitot- oder Prandtlrohr) P1 bzw. P2 zur Erfassung des ein- und auslaufseitigen Drucks des Luftstromes vorgesehen. Die Drucksonden P1, P2 sind über je eine Signalaufbereitungsstufe 8.1 und 8.2 mit Meßeingängen einer Verarbeitungseinheit 9 verbunden, in der die Druckdifferenz Δp als Maß für den Strömungswiderstand des Verbindungsstück-Modells 1M in seiner jeweiligen Konfiguration bestimmt wird.

Die Halter 5 sind mit einer Verstellrichtung 10 verbunden, die eine separate Verstellung jedes Halters in seinen Freiheitsgraden (vgl. auch Fig. 6) ermöglicht, wobei die Einstellwerte (im Rahmen von Wertebereichsvorgaben) durch einen Zufallsgenerator 11 erzeugt werden. Die praktische Realisierung kann beispielsweise mit jeweils mehreren Schrittmotoren an den Trägern 5c oder — bei Vorsehen geeigneter Einstellskalen und Feststeller an den Trägern — auch manuell erfolgen.

Fig. 6 zeigt in einer Querschnitts-Detaildarstellung des in Fig. 5 mit D bezeichneten Bereiches der Vorrichtung den Aufbau der in der Führungsnut 6 der Grundplatte 7 gelagerten Träger 5c (ohne Aktuatoren zur Verstellung). Ein Unterteil 51 des Trägers 5c weist der Schwalbenschwanzform der Führungsnut 6 angepaßte seitliche Ausnehmungen 51a sowie in seiner zur Oberfläche der Platte 7 parallelen Oberseite eine Sackbohrung 51b auf, die als Lager für einen aus der Unterseite eines Träger-Oberteils 52 hervorstehenden zylindrischen Zapfen 52a dient. Über diesen ist das Oberteil 52c im Unterteil 51c drehbar gelagert. In einer durchgehenden waagerechten Bohrung 52b des Oberteils 52 ist der Haltestab 5b aufgenommen.

Fig. 7 zeigt in schematischer Darstellung eine gegenüber Fig. 5 modifizierte Vorrichtung zur Durchführung der Formbestimmung eines Verbindungsstücks. Gleiche Elemente wie bei der Anordnung nach Fig. 5 sind mit gleichen Bezugsziffern bezeichnet und werden nicht nochmals erläutert.

Dem Lüfter 4 ist bei dieser Ausführungsform ein Feststoffbehälter 12 mit einem Ventil 12a und einer Füllstandsanzeige 12b zugeordnet, aus dem Feststoffteilchen in den vom Lüfter erzeugten Luftstrom angesaugt werden können. Ein Zeitgeber 13 ermöglicht die Bestimmung der Feststoffdurchsatzes pro Zeiteinheit, so daß über das Ventil 12a auch dessen Einstellung auf einen vorbestimmten Wert möglich ist.

Den vier Haltern 5 sowie dem Einlauf- und dem Auslaufquerschnitt des Modell-Krümmers 1M ist hier je ein Schwingungsaufnehmer (z. B. Piezoaufnehmer) M1 bis M7 zugeordnet; die Schwingungsaufnehmer sind mit Eingängen einer mehrkanaligen Auswertungseinheit (Spektralanalysator) 14 verbunden, die eine Spektralanalyse des Schwingungsverhaltens an jedem der Meßpunkte und somit eine Analyse der mechanischen Belastung des Verbindungsstücks im feststoffbeladenen Fluidstrom ermöglicht. Damit ist eine Optimierung des Verbindungsstücks im Hinblick auf minimale mechanische Beanspruchung und maximale Standzeit möglich — selbstverständlich (bei leerem Behälter 12 oder geschlossenem Ventil 12a) auch für Fluidströme ohne

Feststoffbelastung.

Fig. 8 zeigt in schematischer Darstellung eine weitere gegenüber Fig. 5 modifizierte, besonders einfach aufgebaute Vorrichtung zur Durchführung der Formbestimmung eines — beim dargestellten Beispiel zweiteiligen — Verbindungsstücks. Gleiche Elemente wie bei Fig. 5 oder Fig. 7 sind wiederum mit gleichen Bezugsziffern bezeichnet.

Das Verbindungsstück-Modell 1M' besteht aus dem Teilmodell 1M'/a eines 45°-Krümmers und dem Teilmodell 1M'/b eines 30°-Krümmers, die derart aneinandergeflanscht und räumlich angeordnet sind, daß das Einlaufrohr 2 senkrecht verläuft und von oben in das Verbindungsstück-Modell 1M' mündet. Ein Auslaufrohr ist in dieser Ausführung nicht vorgesehen. In das Einlaufrohr mündet der mit einem Schieber 12a' verschließbare Entleerungsstutzen eines Feststoffbehälters 12', dem — wie bei der Ausführung nach Fig. 6 — eine Füllstandsanzeige 12b' und ein Zeitgeber 13 zur Bestimmung des Volumendurchsatzes pro Zeiteinheit zugeordnet sind. Die aus dem Verbindungsstück-Modell ausströmenden Feststoffe gelangen in einen Sammelbehälter 15.

Der Antrieb des als Pseudofluid zu betrachtenden Feststoffstromes aus dem Behälter 12' durch das Verbindungsstück-Modell 1M' erfolgt hier allein durch die Schwerkraft und die Beurteilung der Krümmergestalt in erster Näherung anhand des Volumendurchsatzes pro Zeiteinheit.

Die Anordnung eignet sich besonders zur Bestimmung der Krümmergestalt für Schüttgut-Transportsysteme; anstelle von Feststoffen können in einem (ggfs. modifizierten) Behälter aber auch Flüssigkeiten oder Flüssigkeit-Feststoff-Gemische untergebracht sein und zur Krümmer-Optimierung genutzt werden. Die Vorrichtung kann — ggfs. mit entsprechender Modifizierung der räumlichen Anordnung — natürlich auch mit anderen Krümmer-Modellen eingesetzt werden, etwa den in Fig. 4a bis 4c, 4e und 4f gezeigten Beispielen.

Die Erfindung beschränkt sich in ihrer Ausführung nicht auf die vorstehend angegebenen bevorzugten Ausführungsbeispiele. Vielmehr ist — sowohl hinsichtlich der konkreten (auch dreidimensionalen) Gestalt optimierter Verbindungsstücke als auch in deren Herstellungsverfahren sowie der Ausführung von Vorrichtungen zur Formbestimmung (einschließlich anderer Antriebe, veränderter Lage im Raum etc.) — eine Vielzahl von Varianten denkbar, welche die Erfindung auch in grundsätzlich anders gearteten Ausführungen verkörpern.

Patentansprüche

1. Gekrümmtes, insbesondere starres, Verbindungsstück (1A; 1B; 1C) mit einer über seine Länge im wesentlichen konstanten Querschnittsflächen-gestalt zum Verbinden eines ersten und eines zweiten, sich mindestens in dem an das Verbindungsstück angrenzenden Bereich im wesentlichen geradlinig erstreckenden, starren Rohres (2, 3) oder Kanals zum Führen eines im wesentlichen stationären Fluidstromes mit vorbestimmter Richtung (F), wobei die Längsachsen (A2, A3) der angrenzenden Bereiche des ersten und des zweiten Rohres oder Kanals (2, 3) in einer gemeinsamen Ebene liegen oder auf eine gemeinsame Ebene projizierbar sind und sich die Längsachsen oder deren Projektionen auf die Ebene in der Umgebung des Verbindungsstücks in einem Punkt (S) schneiden und die dem

Verbindungsstück benachbarten Enden (20, 30) des ersten und des zweiten Rohres oder Kanals vom Schnittpunkt (S) gleichen Abstand haben, dadurch gekennzeichnet, daß das Verbindungsstück eine Krümmung aufweist, die zwischen den ihm benachbarten Enden des ersten und des zweiten Rohres oder Kanals durch eine Funktion $K(x, y, z)$ beschrieben ist, die mindestens ein Maximum an einem Punkt oder in einem Abschnitt (K_{\max}) hat, dessen Abstand zum Ende des ersten Rohres vom Abstand zum Ende des zweiten Rohres verschieden ist.

2. Verbindungsstück nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die die Krümmung beschreibende Funktion einen Bereich stetigen Übergangs von einer Krümmung gleich oder nahe Null am Ende des anströmseitigen Rohres (2) bis zum Punkt oder Abschnitt (K_{\max}) des Maximums und/oder von diesem bis zu einer Krümmung gleich oder nahe Null am Ende des abströmseitigen Rohres (3) aufweist.

3. Verbindungsstück nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die die Krümmung beschreibende Funktion im Bereich zwischen dem dem anströmseitigen Rohr (2) oder Kanal benachbarten Ende und dem Punkt oder Abschnitt (K_{\max}) des Maximums einen Wendepunkt hat.

4. Verbindungsstück nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die die Krümmung beschreibende Funktion im Bereich zwischen dem Punkt oder Abschnitt (K_{\max}) des Maximums und dem dem abströmseitigen Rohr (3) oder Kanal benachbarten Ende einen Wendepunkt hat.

5. Verbindungsstück nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Querschnitt elliptisch, insbesondere kreisförmig, ist.

6. Verbindungsstück nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Querschnitt rechteckig ist.

7. Anordnung mit mindestens zwei in Richtung ihrer Längserstreckung aneinandergefügtten Verbindungsstücken nach einem der vorangehenden Ansprüche.

8. Anordnung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens zwei der aneinandergefügtten Verbindungsstücke entgegengesetzte Krümmungsrichtungen aufweisen.

9. Anordnung nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens zwei der aneinandergefügtten Verbindungsstücke zwischen ihrer anströmseitigen und ihrer abströmseitigen Stirnfläche unterschiedliche Winkel einschließen.

10. Anordnung nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen mindestens zwei Verbindungsstücken ein gerades Rohr- oder Kanalstück eingefügt ist.

11. Verbindungsstück oder Anordnung nach einem der vorangehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch die Ausbildung als zwei- oder dreidimensionaler, in ein Rohrleitungs- oder Kanalsystem integrierter Verbindungsabschnitt.

12. Verbindungsstück oder Anordnung nach einem der vorangehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine strömungsbeeinflussende Strukturierung der Innenoberfläche.

13. Verfahren zur Herstellung eines Verbindungsstücks nach einem der vorangehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, daß ein Schritt der Formbestimmung des Verbindungsstücks einen Optimierungsvorgang unter Erzeugung eines reellen oder virtuellen Fluidstromes mit mindestens einem die Strömung oder deren Wirkung auf das Verbindungsstück kennzeichnenden meßbaren oder anhand der geometrischen Gestalt des Verbindungsstücks errechenbaren Parameter aufweist, dessen Wert ein Maß für die Optimierungsgröße, insbesondere den Strömungswiderstand oder die mechanische Belastung, einer vorgegebenen Verbindungsstück-Form ist, und der Optimierungsvorgang im wesentlichen eine Menge reeller oder virtueller Messungen des Wertes für eine Menge von Verbindungsstück-Formen (1M) und die Bestimmung der optimalen Gestalt aus der Menge anhand des den besten Wert der Optimierungsgröße, insbesondere den niedrigsten Strömungswiderstand oder die geringste mechanische Belastung des Verbindungsstücks, ausdrückenden Wertes des Parameters umfaßt.

14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Menge der untersuchten Verbindungsstück-Modelle (1M; 1M') im Verlauf des Optimierungsvorganges, von mindestens einer vorgegebenen Form ausgehend, schrittweise vergrößert wird, bis eine Form mit hinreichender Annäherung an das Optimierungsziel, insbesondere mit hinreichend niedrigem Strömungswiderstand oder niedriger mechanischer Belastung des Verbindungsstücks, gefunden ist.

15. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Form des Verbindungsstück-Modells (1M, 1M') durch die vorgegebenen Polarkoordinaten (r_i, Φ_i) von ausgewählten Punkten seiner Mittenachse (A) bezüglich eines als Schnittlinie der ihm zugewandten Stirnflächen des ersten oder zweiten Rohres bestimmten Koordinatenursprungs (0) bestimmt wird.

16. Verfahren nach Anspruch 14 und 15, dadurch gekennzeichnet, daß ein Veränderungsschritt die Variation mindestens des Radius-Wertes (r_i) eines Punktes der Mittenachse nach dem Zufallsprinzip umfaßt.

17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß ein Veränderungsschritt die gleichzeitige Variation einer den Krümmungsverlauf in einem Abschnitt des Verbindungsstück-Modells kennzeichnenden Menge von Polarkoordinatenwerten umfaßt.

18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß der Krümmungsverlauf in einem Abschnitt durch Einstellung eines Wertepaares aus dem Radius-Wert an einem Punktes in dem Abschnitt und einer Richtungsgröße (Φ_{2i}) für den Verlauf der Mittenachse in der Umgebung dieses Punktes eingestellt wird.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß eine Urform, insbesondere eine Guß-, Spritzguß- oder Biegeform, entsprechend der im Formbestimmungsschritt erhaltenen optimalen geometrischen Gestalt gefertigt und ein Formgebungsschritt für das Verbindungsstück mit dieser Urform ausgeführt wird.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß im Ergebnis des Schrittes der Formbestimmung eine Biegeform bzw. Schablone hergestellt wird, die zur Festlegung

des Krümmungsverlaufs eines Verbindungsstücks oder eines Verbindungsabschnitts in einer zusammenhängenden Rohr- oder Kanalführung eingesetzt wird.

21. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 13 bis 20, mit

- einer realen oder virtuellen Fluidquelle (4; 12; 12') zur Erzeugung eines realen oder virtuellen Fluidstromes mit mindestens einem vorbestimmten Strömungsparameter,
- einem realen oder virtuellen Verbindungsstück-Modell (1M, 1M') mit einem mindestens mittelbar mit dem Ausgang der Fluid-Quelle verbundenen Eingang, einem Ausgang und variablem Krümmungsverlauf in Richtung der Längserstreckung zwischen seinem Ein- und Ausgang,
- einer Bestimmungseinrichtung (P1, P2, 8.1, 8.2; M1 bis M7; 12b; 12b', 13) zur Bestimmung von Werten einer Größe des Fluidstromes und/oder der mechanischen Belastung des Verbindungsstück-Modells,
- einer eingangsseitig mit dem Ausgang der Bestimmungseinrichtung verbundenen Verarbeitungseinheit (9; 14) zur Verarbeitung der Werte der bestimmten Größe und
- einer dem Verbindungsstück-Modell zugeordneten realen oder virtuellen Verstelleinrichtung (5, 6, 10, 11) zur Einstellung verschiedener vorbestimmter Krümmungsverläufe, welche aufweist:
 - eine Mehrzahl von Radial-Verstelleinrichtungen (5b, 5c) zur Verstellung des lokalen Radius eines Abschnitts des Verbindungsstück-Modells,
 - eine Mehrzahl von, jeweils einer Radial-Verstelleinrichtung zugeordneten, Tangential-Verstelleinrichtungen (5c, 6) zur Verschiebung des Angriffspunktes der jeweils zugeordneten Radial-Verstelleinrichtung am Verbindungsstück-Modell und
 - eine Mehrzahl von, jeweils einer Tangential-Verstelleinrichtung zugeordneten, Drehwinkel-Verstelleinrichtungen (51, 52) zur Drehung der Angriffsrichtung der jeweils zugeordneten Radial-Verstelleinrichtung.

22. Vorrichtung nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß das Verbindungsstück-Modell (1M) aus flexiblem Material besteht und als Radial-Verstelleinrichtungen am Umfang des Verbindungsstück-Modells angreifende, mit einem in dessen Längsrichtung verschieblichen, radial verlaufenden Haltestab (5b) versehene Halterungen (5a), als Tangential-Verstelleinrichtung eine viertelkreisförmig tangential verlaufende Führungsbahn (6) mit feststellbaren Trägern (5c) für die Haltestäbe der Radial-Verstelleinrichtungen und als Drehwinkel-Verstelleinrichtungen ein gegeneinander verdrehbares Ober- und Unterteil (52, 51) des Trägers vorgesehen sind.

23. Vorrichtung nach Anspruch 21 oder 22, dadurch gekennzeichnet, daß die Fluidquelle ein Druckluft-erzeuger ist, der insbesondere ein Lüftergebläse (4) oder einen Kompressor aufweist.

24. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 21 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß die Fluidquelle ein Feststoffreservoir (12) zur Erzeugung eines Fluidstromes mit Feststoffteilchen einer vorgegebenen

Größenverteilung und Konzentration aufweist.

25. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 21 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß die Bestimmungseinrichtung einen Aufnehmer (P1, P2) zur Messung des Fluiddruckes und/oder einen Aufnehmer (M1 bis M5) zur Messung einer mechanischen Größe an der Wandung des Verbindungsstück-Modells (1M) aufweist.

26. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 21 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß die Bestimmungseinrichtung eine Fluidmengen-Erfassungs- und eine Zeitmeßeinrichtung (MV, MT) zur Ermittlung der das Verbindungsstück-Modell (1M) pro Zeiteinheit durchströmenden Fluidmenge aufweist.

27. Vorrichtung nach Anspruch 21, gekennzeichnet durch Mittel zur Computersimulation der Fluidquelle, des Verbindungsstück-Modells und der Verstelleinrichtung sowie zur eingangsseitig des Verbindungsstücks vorgenommenen Bestimmung des Fluidparameters als Wertevorgabe und zur am Verbindungsstück-Modell oder ausgangsseitig von diesem vorgenommenen Bestimmung als Berechnung aufgrund der Simulationsparameter der Verstelleinrichtung.

Hierzu 14 Seite(n) Zeichnungen

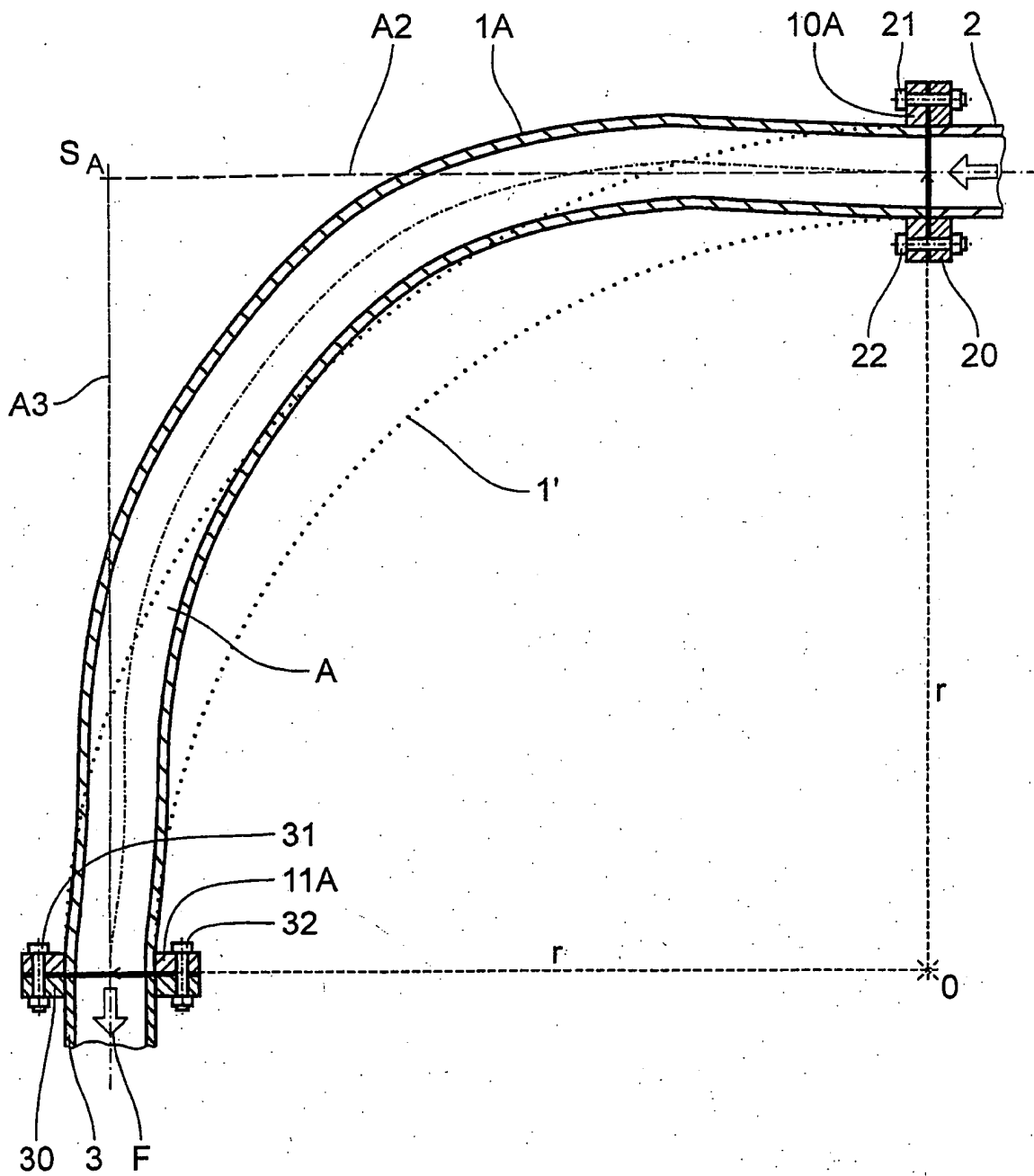


Fig.1a

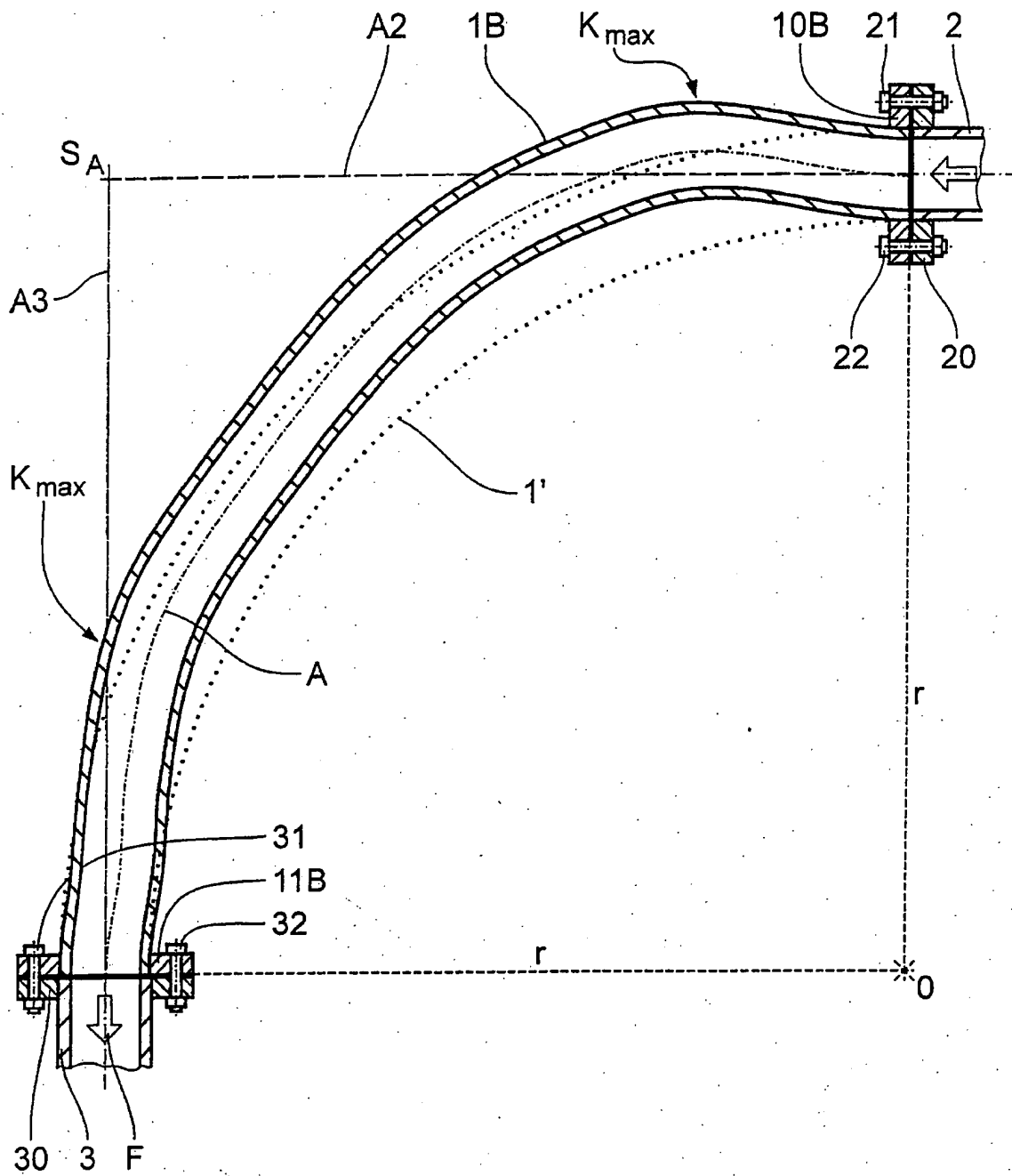


Fig.1b

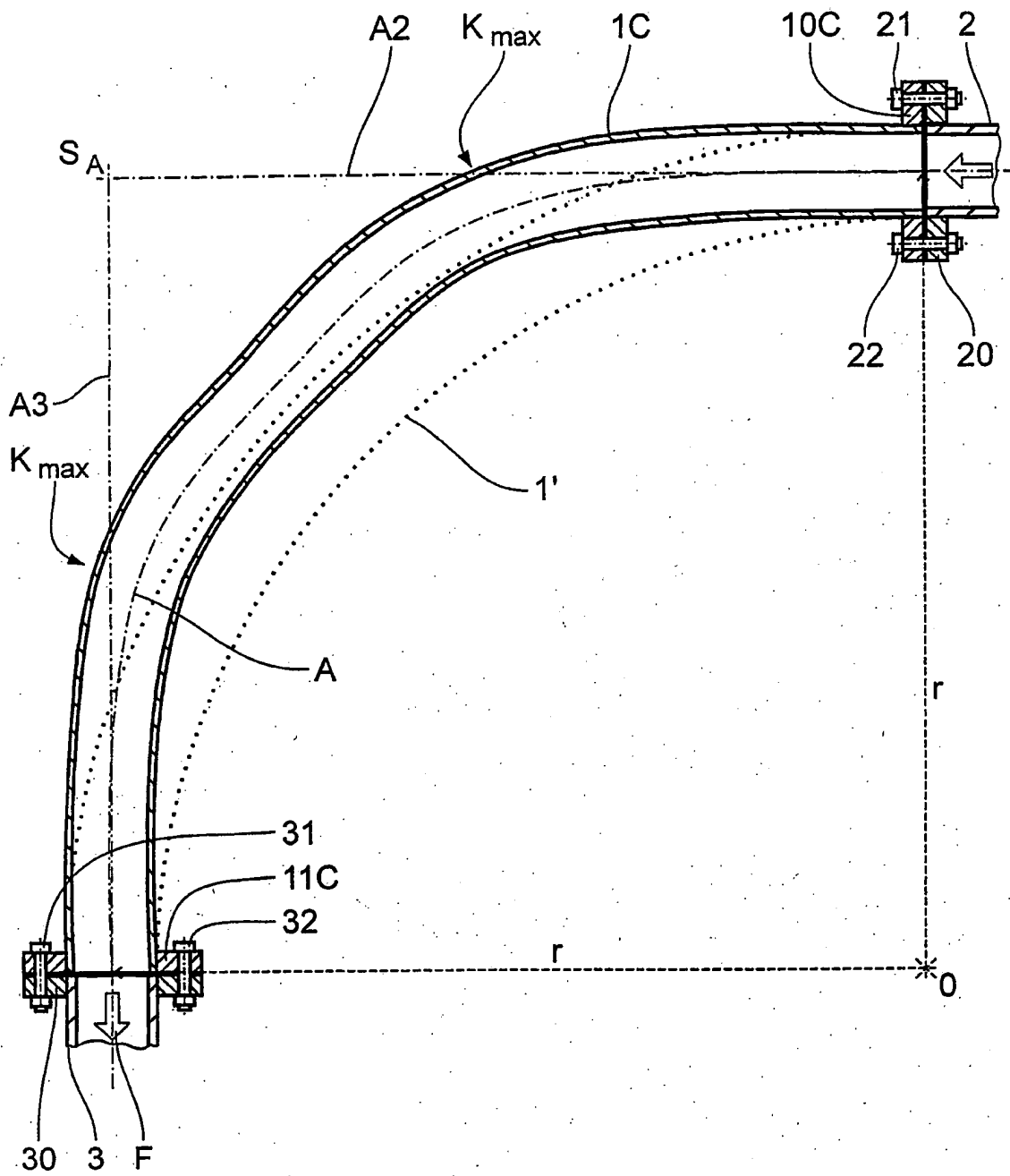


Fig.1c

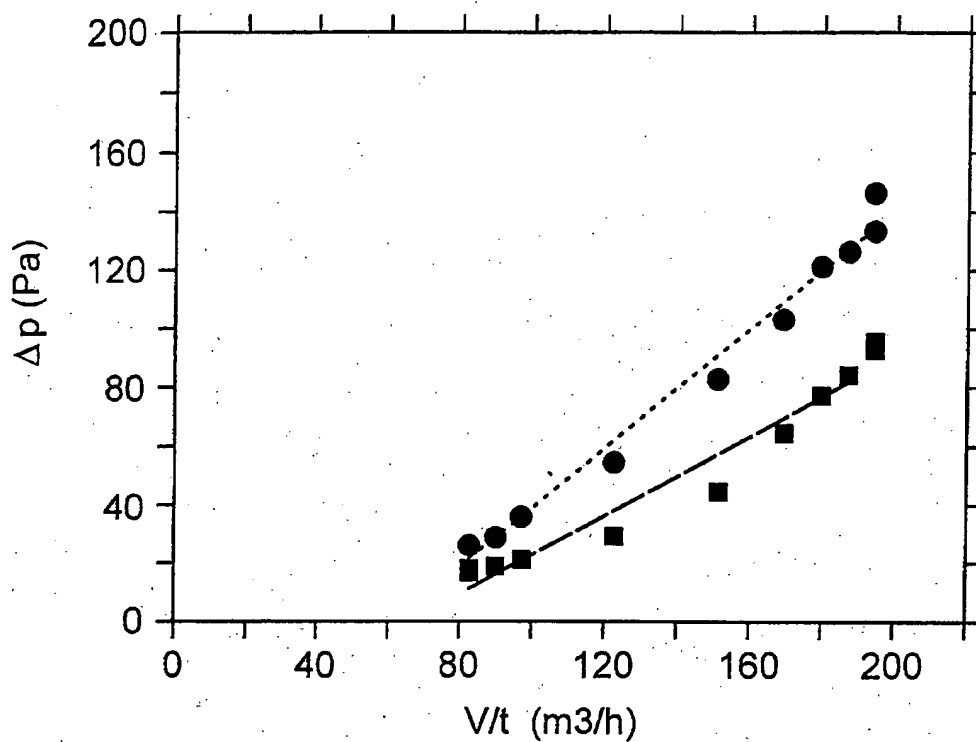

 $D = 75 \text{ mm}$
 $L = 1050 \text{ mm}$
 $L/D = 14$
 $Re \text{ max} = 6.7 \times 10^4$
 $\varphi_{11} = 15^\circ, \varphi_{21} = -3^\circ, r_1 = 715 \text{ mm}$
 $\varphi_{12} = 30^\circ, \varphi_{22} = -2^\circ, r_2 = 760 \text{ mm}$
 $\varphi_{13} = 45^\circ, \varphi_{23} = 2^\circ, r_3 = 760 \text{ mm}$
 $\varphi_{14} = 60^\circ, \varphi_{24} = 1^\circ, r_4 = 740 \text{ mm}$
 $\varphi_{15} = 75^\circ, \varphi_{25} = 2^\circ, r_5 = 690 \text{ mm}$

Fig. 2a

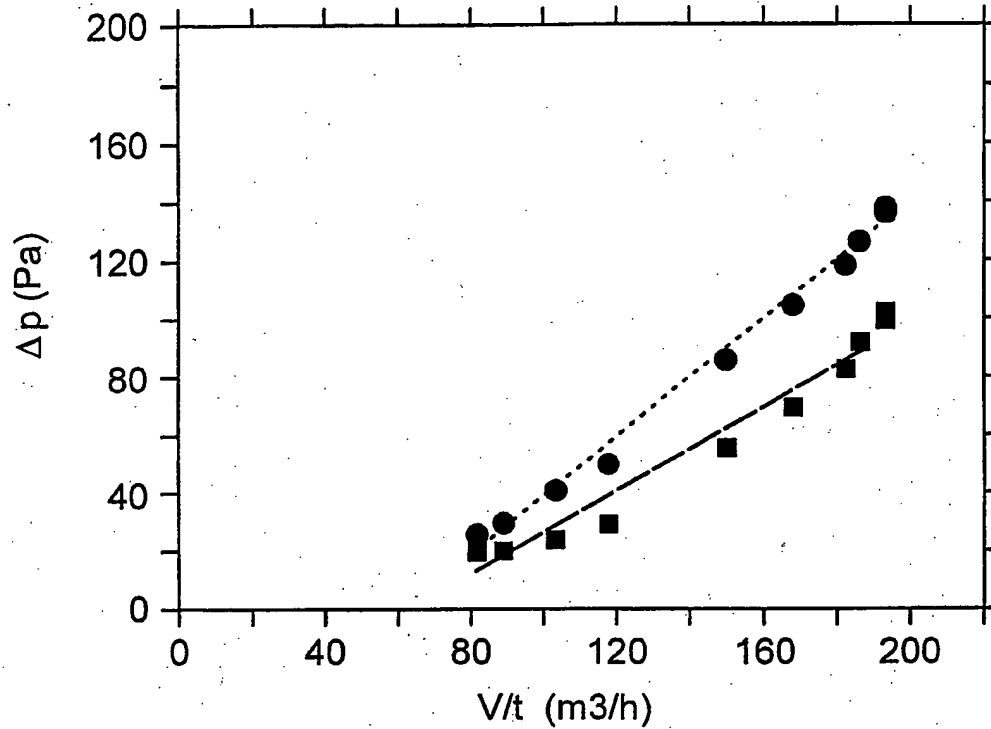
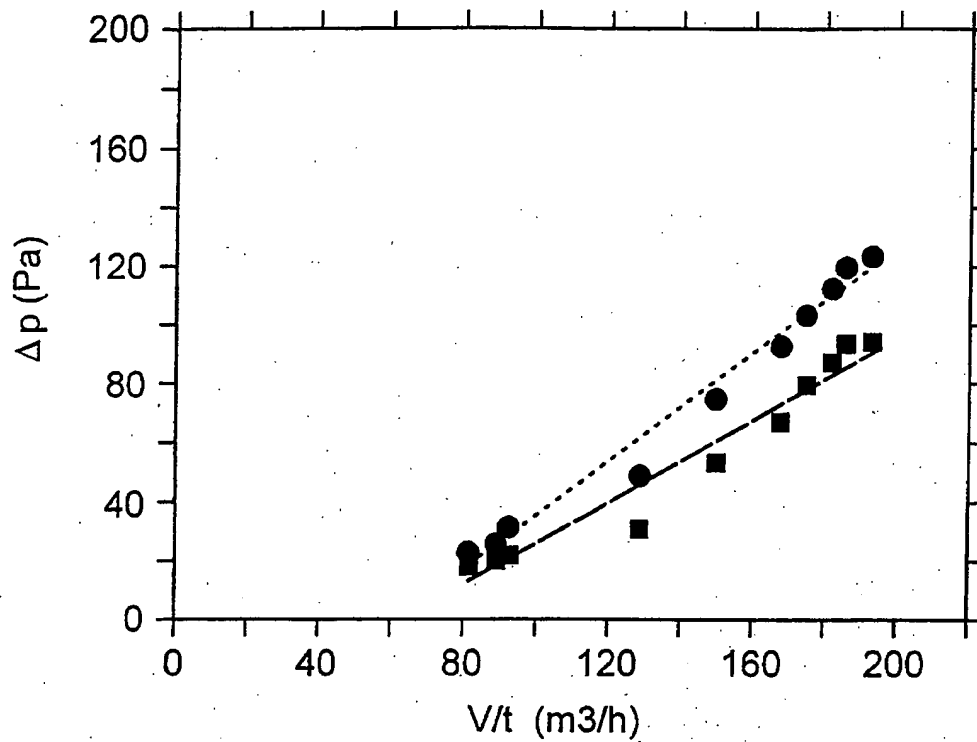

 $D = 75 \text{ mm}$
 $L = 1050 \text{ mm}$
 $L/D = 14$
 $Re_{max} = 6.7 \times 10^4$
 $\varphi_{11} = 15^\circ, \varphi_{21} = -2^\circ, r_1 = 700 \text{ mm}$
 $\varphi_{12} = 30^\circ, \varphi_{22} = -2^\circ, r_2 = 740 \text{ mm}$
 $\varphi_{13} = 45^\circ, \varphi_{23} = 0^\circ, r_3 = 735 \text{ mm}$
 $\varphi_{14} = 60^\circ, \varphi_{24} = 2^\circ, r_4 = 740 \text{ mm}$
 $\varphi_{15} = 75^\circ, \varphi_{25} = 2^\circ, r_5 = 700 \text{ mm}$

Fig. 2b



D = 75 mm

L = 1050 mm

L/D = 14

Re max = 6.7×10^4 $\varphi_{11} = 15^\circ, \varphi_{21} = 0^\circ, r_1 = 720 \text{ mm}$ $\varphi_{12} = 30^\circ, \varphi_{22} = 0^\circ, r_2 = 725 \text{ mm}$ $\varphi_{13} = 45^\circ, \varphi_{23} = 2^\circ, r_3 = 705 \text{ mm}$ $\varphi_{14} = 60^\circ, \varphi_{24} = -2^\circ, r_4 = 705 \text{ mm}$ $\varphi_{15} = 75^\circ, \varphi_{25} = 3^\circ, r_5 = 685 \text{ mm}$

Fig. 2c

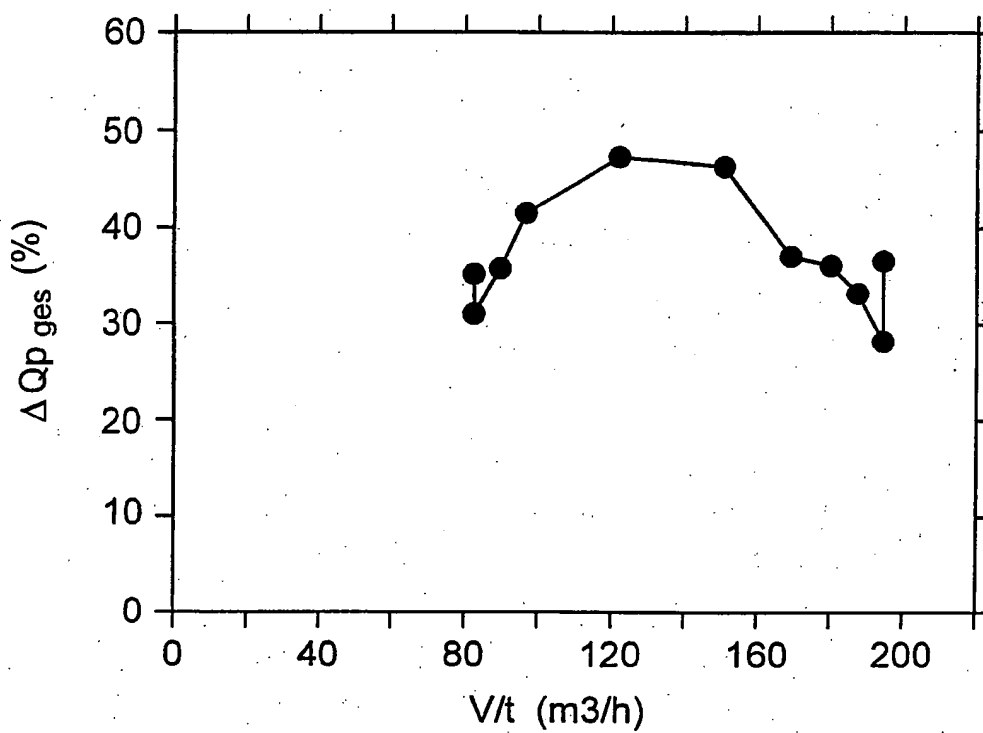


Fig.3a

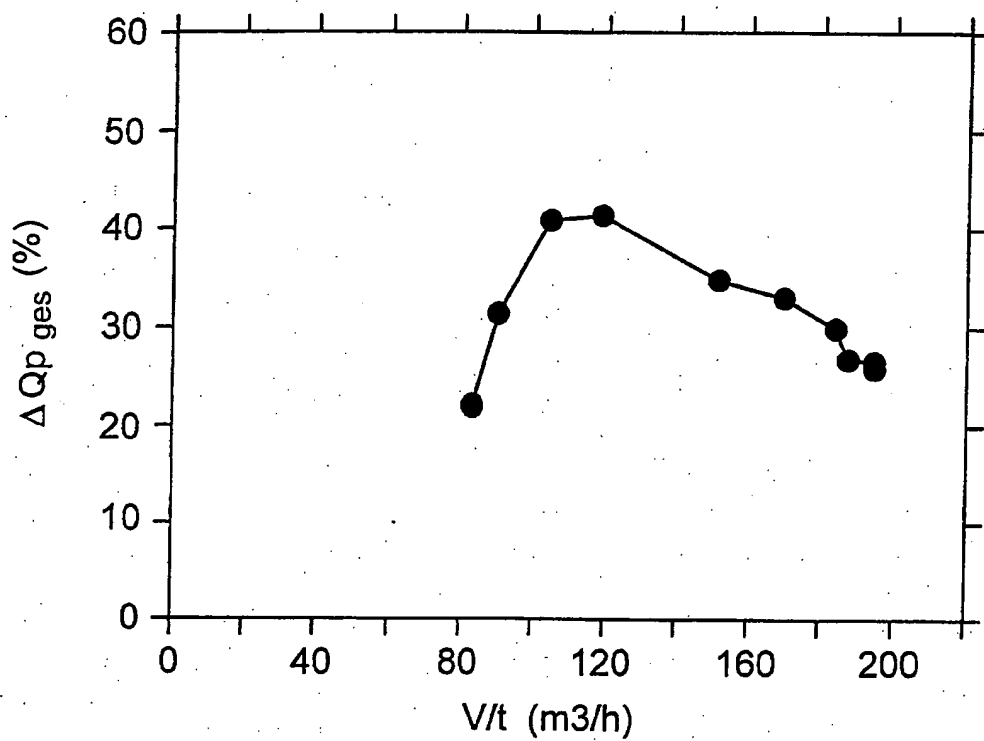


Fig.3b

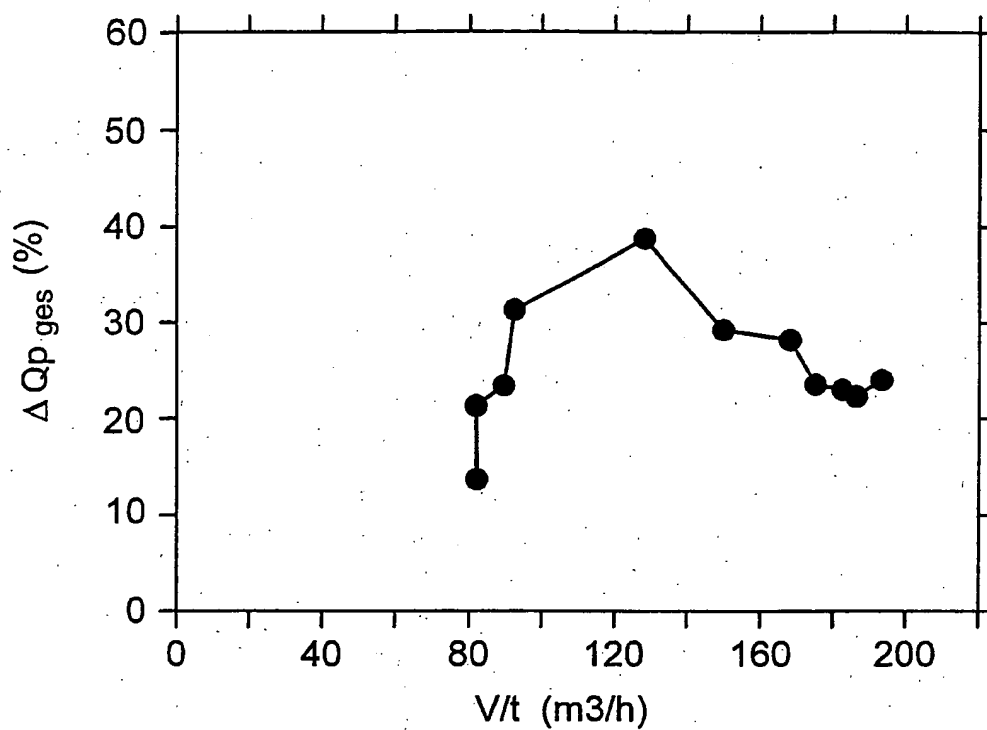


Fig.3c

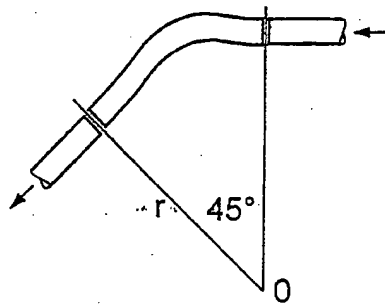


Fig. 4a

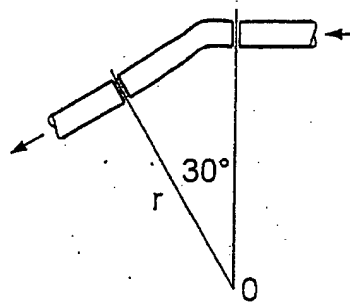


Fig. 4b

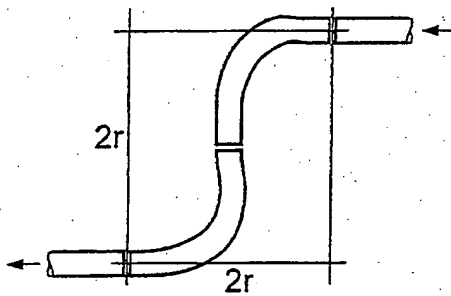


Fig. 4c

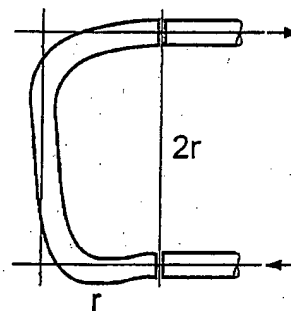


Fig. 4d

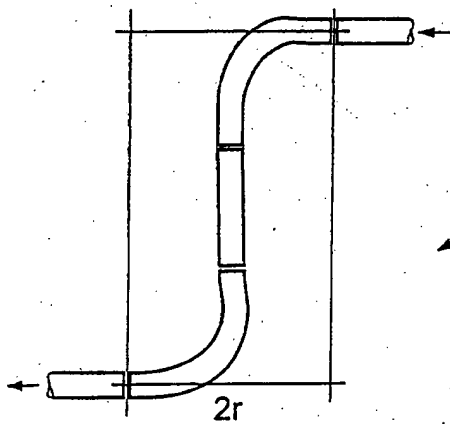


Fig. 4e

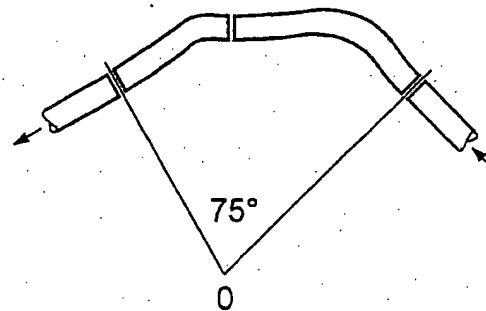
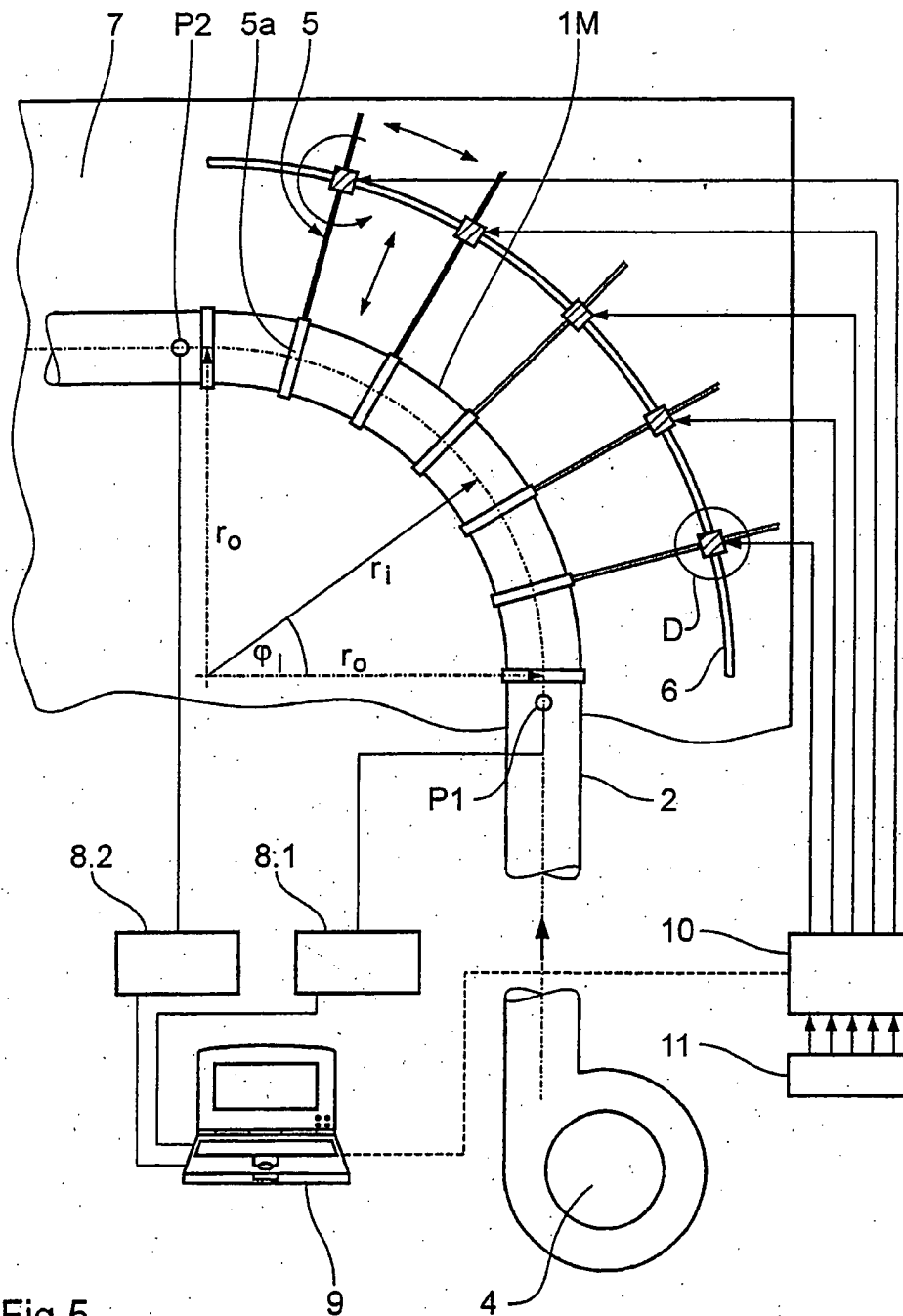


Fig. 4f



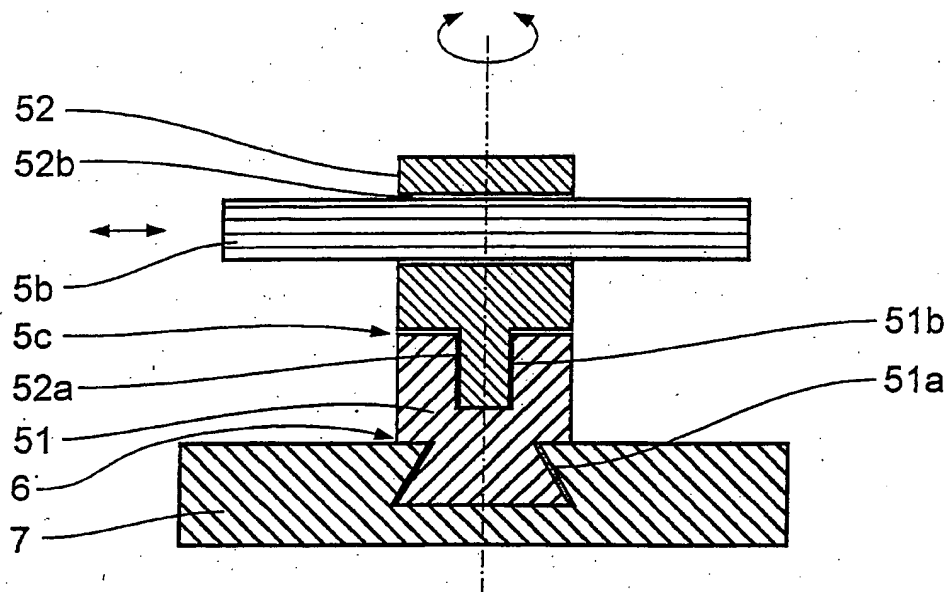
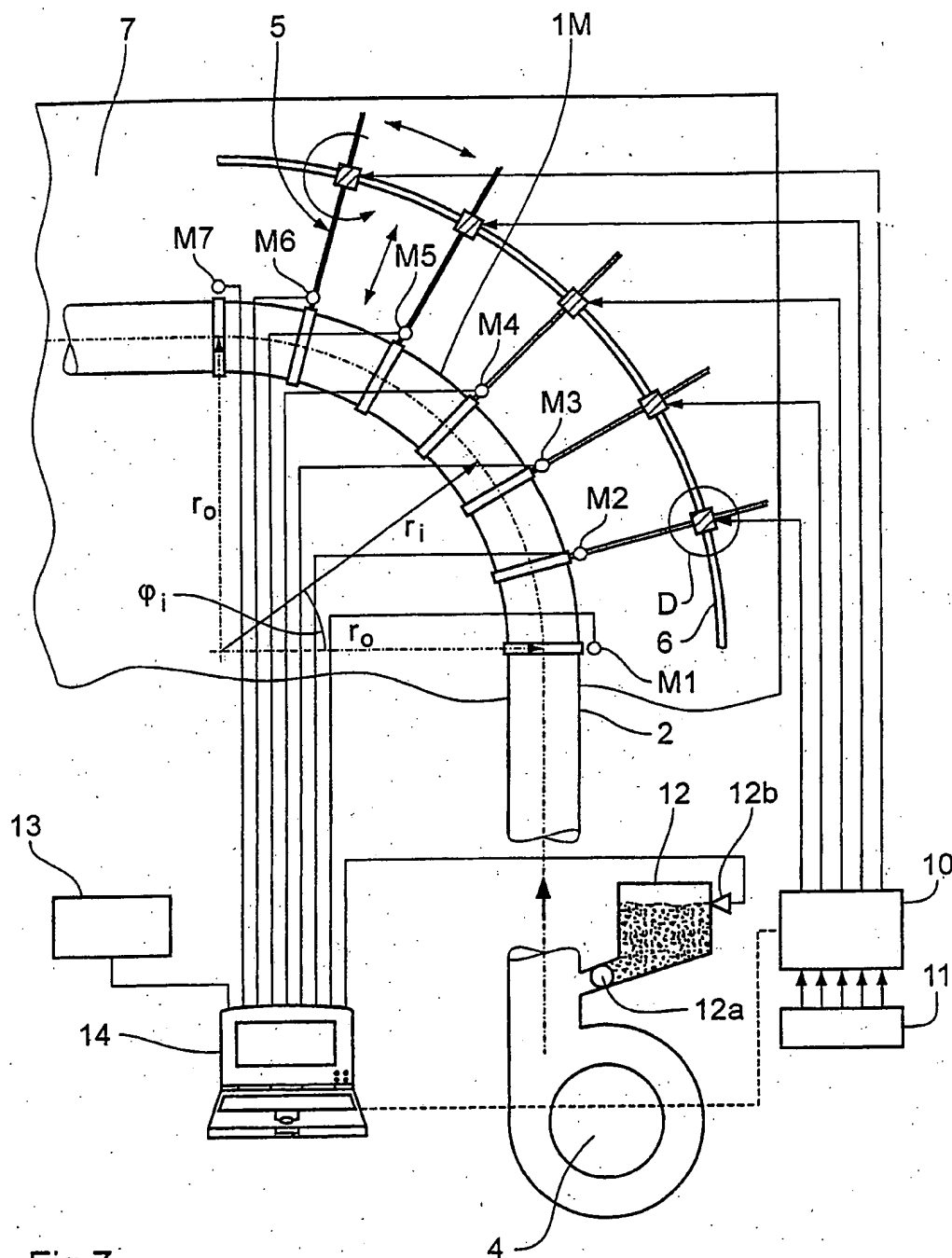


Fig.6



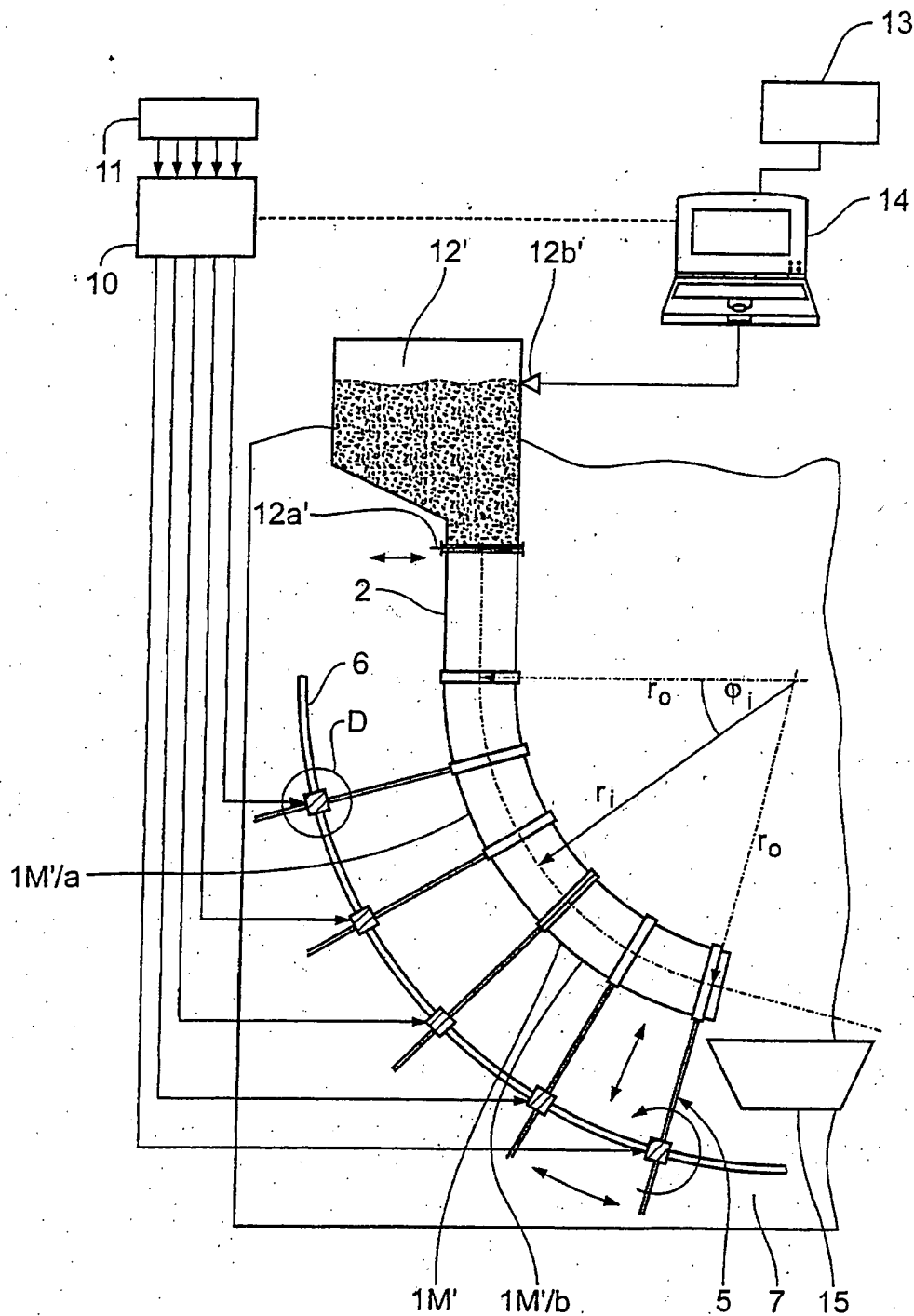


Fig.8

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☐ **FADED TEXT OR DRAWING**

☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.